

## Pendingin mesin sinkron



## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	iii
1. CARA PENDINGINAN MESIN SINKRON .....	1
1.1 Penandaan Sederhana .....	1
1.1.1 Ruang lingkup .....	1
1.2 Sistem Lengkap .....	5
1.2.1 Ruang lingkup .....	5
1.2.2 Definisi .....	5
1.2.2.1 Pendinginan .....	5
1.2.2.2 Sistem Pendinginan Pertama .....	5
1.2.2.3 Sistem Pendinginan Kedua .....	5
1.2.2.4 Penukar Kalor .....	5
1.2.2.5 Belitan dengan pendinginan dalam (pendinginan langsung) .....	5
1.2.2.6 Sistem pendinginan terbuka .....	5
1.2.2.7 Sistem pendinginan tertutup .....	5
1.2.2.8 Sistem pendinginan cadangan atau darurat .....	6
1.2.2.9 Komponen dalam rangkai sirkulasi yang tergantung dari mesin utama .....	6
1.2.2.10 Komponen dalam rangkai sirkulasi yang berdiri sendiri .....	6
1.2.2.11 Komponen dalam rangkai sirkulasi terpadu .....	6
1.2.2.12 Komponen dalam rangkai sirkulasi terpasang pada mesin .....	6
1.2.2.13 Komponen dalam rangkai sirkulasi yang terpisah .....	6
1.3 Umum .....	6
1.4 Bahan Pendingin .....	7
1.5 Angka Penandaan Pertama .....	7
1.6 Angka Penandaan Kedua .....	9
2. KENAIKAN SUHU .....	13
2.1 Keadaan selama pengujian dari kenaikan suhu .....	13
2.1.1 Suhu dari bahan pendingin .....	13
2.1.2 Pengukuran dari suhu bahan pendingin selama pengujian .....	13
2.1.2.1 Mesin terbuka dengan pendinginan oleh udara keliling atau gas .....	13



	Halaman
2.1.2.2 Mesin tertutup dengan alat pendingin luar dan saluran ventilasi .....	13
2.1.2.3 Mesin tertutup dengan alat pendingin dalam .....	13
2.2 Cara Pengukuran Kenaikan Suhu .....	13
2.2.1 Definisi kenaikan suhu dari bagian suatu mesin .....	13
2.2.2 Cara pengukuran suhu .....	13
2.2.3 Cara pengukuran suhu belitan .....	14
2.2.4 Cara termometer .....	15
2.2.5 Cara Resistans .....	15
2.2.6 Cara superposisi .....	15
2.2.7 Menentukan kenaikan suhu belitan tembaga dengan cara resistans .....	15
2.2.8 Cara detektor suhu tertanam .....	15
2.2.9 Cara pengukuran suhu dengan detektor tertanam .....	16
2.2.9.1 Dua sisi kumparan per alur .....	16
2.2.9.2 Lebih dari dua sisi kumparan per alur .....	16
2.2.10 Koreksi terhadap pengukuran dilaksanakan sesudah mesin berhenti .....	16
2.2.11 Lamanya pengujian kenaikan suhu untuk operasi kontinu .....	16
2.2.12 Pengujian kenaikan suhu untuk mesin yang tidak kontinu .....	17
2.2.12.1 Mesin operasi waktu pendek (tipe S2) .....	17
2.2.12.2 Mesin tipe lain (tipe S3 s/d S8) .....	17
2.3 Batasan suhu dan kenaikan suhu .....	17
2.3.1 Tabel dari suhu dan kenaikan suhu .....	17
2.3.2 Belitan stator untuk tegangan nominal yang melebihi 11.000 V .....	18
a. Mesin dengan pendinginan udara .....	18
b. Mesin yang didinginkan tidak secara langsung oleh hidrogen .....	18
Tabel I	
Batasan kenaikan mesin dengan pendinginan udara .....	19
Tabel II	
Batasan kenaikan suhu mesin dengan pendinginan hidrogen tidak langsung .....	20
Tabel III	
Batas suhu mesin dengan pendinginan langsung oleh hidrogen .....	21





	Halaman
2.3.3 Penyesuaian batas kenaikan suhu pada permukaan laut terhadap kondisi setempat dari suhu bahan pendingin dan ketinggian lokasi .....	22
Tabel IV	
Penyesuaian dengan kondisi lokasi .....	22
Tabel V	
Kenaikan ketinggian .....	23
Tabel VI	
Perkiraan suhu ruang .....	24
Tabel VII	
Penyesuaian kondisi pengujian .....	24

**SALINAN KEPUTUSAN MENTERI PERTAMBANGAN DAN ENERGI  
NOMOR : 350 K/473/M.PE/1986**





## PENDINGINAN MESIN SINKRON

### 1. CARA PENDINGINAN MESIN SINKRON

"Dialih-bahasa-kan seluruhnya dari IEC Recommendation Publication 34-6 First Edition 1969 : Rotating Electrical Machines. Part 6: Methods of cooling rotating machines"

#### 1.1 Penandaan sederhana - "Chapter I : Simplified Code"

##### 1.1.1 Ruang Lingkup

Penjelasan sederhana ini hanya untuk tipe mesin yang biasa dipakai sebagaimana tercantum pada Tabel O. Bagi mesin yang tidak tercantum pada Tabel O, maka dapat dilihat pada ayat 2 tentang sistem pendinginan yang lengkap.

Penandaan sederhana ini dinyatakan dengan hurup IC dengan menambahkan di belakangnya dua angka penandaan.

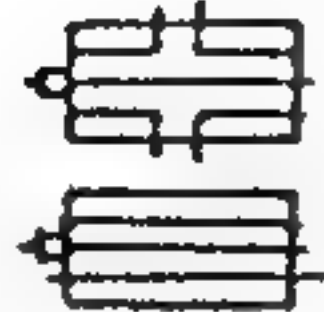



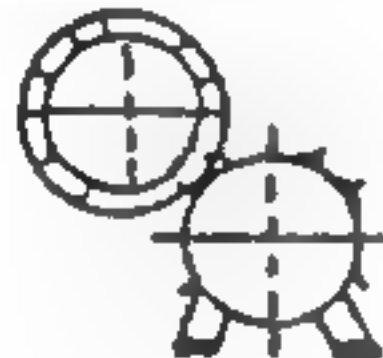





Angka pertama menandakan sistem rangkai aliran pendinginan dan angka kedua menandakan cara pencatutan daya masukan untuk mengalirkan bahan pendinginnya.

Semua mesin ini adalah mesin dengan pendinginan udara.



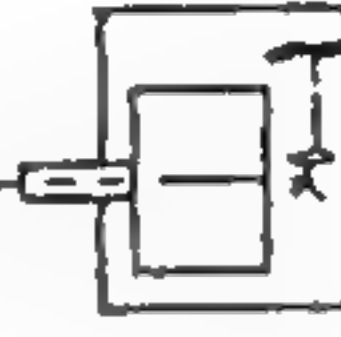
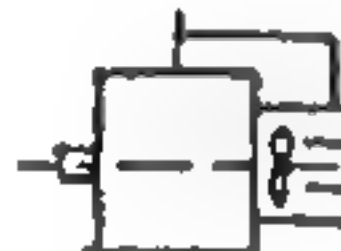
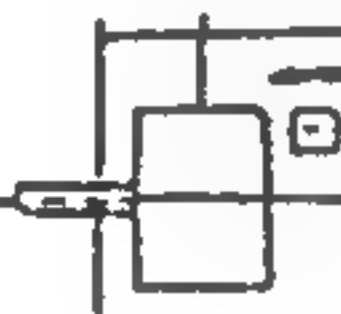

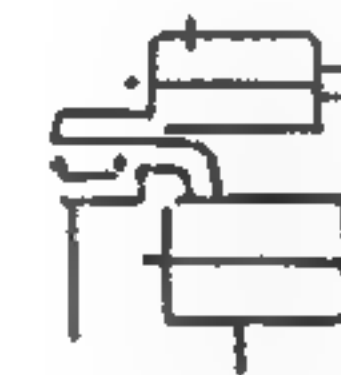

Catatan:

Bila cara pencatutan daya masukan yang diperlukan untuk mengalirkan bahan pendinginnya adalah sesuai dengan angka 1 dari angka penandaan kedua (sirkulasi sendiri, yang komponennya terpasang pada poros mesin), maka dalam penandaan sistem pendinginan ini, cukup disebutkan hanya angka penandaan pertama saja, sebagai penandaan rangkai aliran pendinginannya.



Angka penandaan pertama		
0		Sirkulasi bebas
1		Ventilasi pipa masuk
2		Ventilasi pipa keluar
3		Ventilasi pipa masuk dan keluar
4		Pendinginan pada permukaan rangka mesin
5		Penukar kalor terpadu (memakai bahan pendingin sekitarnya).
6		Penukar kalor terpasang pada mesin (memakai bahan pendingin sekitarnya).
7		Penukar kalor terpadu (tanpa memakai bahan pendingin sekitarnya)
8		Penukar kalor terpasang pada mesin (tanpa memakai bahan pendingin sekitarnya)
9		Penukar kalor dipasang terpisah dari mesin



Angka Penandaan Kedua		
0		Konveksi bebas
1		Sirkulasi sendiri
2		Komponen terpadu terpasang pada poros yang terpisah
3		Komponen terpasang pada mesin dan tergantung dari putaran poros mesin
5		Komponen terpadu yang berdiri sendiri
6		Komponen terpasang pada mesin yang berdiri sendiri
7		Sistem pendinginan yang mempergunakan alat sirkulasi dan bekerja sendiri secara terpisah dari tekanan
8		Perpindahan relatif



Tabel 0

Angka pe- nandaan pertama \ Angka pe- nandaan kedua	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	IC 00	IC 01 atau IC 0				IC 05			
1		IC 11 atau IC 1					IC 16	IC 17	
2		IC 21 atau IC 2							
3		IC 31 atau IC 3						IC 37	
4		IC 41 atau IC 4							IC 48
5		IC 51 atau IC 5							
6		IC 61 atau IC 6							
7									
8									
9									





**1.2 Sistem lengkap - "Chapter II : Complete system"****1.2.1 Ruang Lingkup**

Rekomendasi ini menentukan cara aliran bahan pendingin pada mesin sinkron, meng-klasifikasikannya dan memberikan penandaan beserta ketentuan singkat, mana yang dapat dipakai untuk pemakaian biasa dan komponen mana yang tidak termasuk sebagai bagian dari mesin.

Tujuan dari pada rekomendasi ini adalah untuk memelihara pengertian yang baik antara produsen dan pembeli; bukan maksud dari ketentuan ini untuk mencantumkan penandaan tersebut pada mesin.

**1.2.2 Definisi****1.2.2.1 Pendinginan**

Panas yang timbul dalam mesin sebagai kerugian, pertama-tama didinginkan oleh sistem pendinginan pertama, sehingga suhu dari pada sistem pendinginan ini menaik.

Bahan pendinginan yang telah panas ini harus diganti oleh bahan pendingin yang baru dengan suhu yang lebih rendah atau bahan pendingin yang telah panas ini didinginkan oleh sistem pendinginan kedua melalui Penukar Kalor.

**1.2.2.2 Sistem Pendinginan Pertama**

Bahan pendingin (cair atau gas) yang mempunyai suhu lebih rendah dari pada bagian mesin yang harus didinginkan, dialirkan ke bagian mesin tersebut dan mengambil panas dari bagian mesin tersebut.

**1.2.2.3 Sistem Pendinginan Kedua**

Bahan pendingin (cair atau gas) yang mempunyai suhu lebih rendah dari sistem pendinginan pertama, mengambil panas dari sistem pendinginan pertama ini melalui sebuah Penukar Kalor.

**1.2.2.4 Penukar Kalor**

Penukar Kalor adalah sebuah alat untuk memindahkan panas dari satu bahan pendingin kepada bahan pendingin lainnya, dengan pengertian kedua sistem ini tetap terpisah.

Tipe Penukar Kalor.

- Penukar Kalor dengan bahan pendingin udara.
- Penukar Kalor dengan bahan pendingin air.
- Sistem pendingin dengan dinding rangkap.
- Dinding bersisik dan sebagainya.

**1.2.2.5 Belitan dengan pendinginan dalam (pendinginan langsung)**

Belitan yang terdiri dari kawat berongga atau pipa, yang didalamnya dialirkan bahan pendingin.

**1.2.2.6 Sistem Pendinginan Terbuka**

Cara pendinginan ini adalah dengan cara mengambil bahan pendinginnya dari sekitar mesin dan dialirkan melalui mesin tersebut dan kemudian kembali ke sekitar mesin.

**1.2.2.7 Sistem Pendinginan Tertutup**

Cara pendinginan ini terdiri dari sistem pendinginan pertama yang dialirkan ke dalam mesin dengan rangkai tertutup dan bila perlu melalui Penukar Kalor.



Panas ini dipindahkan dari pendinginan pertama ke pendinginan kedua dalam Penukar Kalor.

**1.2.2.8 Sistem Pendinginan Cadangan Atau Darurat**

Di samping sistem pendinginan yang biasa, maka dipakai pula sistem pendinginan tambahan yang dipakai, bila sistem pendinginan biasa tidak bekerja.

**1.2.2.9 Komponen dalam rangkai sirkulasi yang tergantung dari mesin utama**  
Komponen terpisah dalam rangkai sirkulasi bahan pendingin yang dalam operasinya tergantung dari mesin utama.

**1.2.2.10 Komponen dalam rangkai sirkulasi yang berdiri sendiri**  
Komponen terpisah dalam rangkai sirkulasi yang operasinya tidak tergantung dari mesin utama.

**1.2.2.11 Komponen dalam rangkai sirkulasi terpadu**  
Komponen dalam rangkai sirkulasi pendingin yang merupakan bagian dari pada mesin dan yang hanya dapat diganti dengan membongkar sebagian dari mesin utama.

**1.2.2.12 Komponen dalam rangkai sirkulasi terpasang pada mesin**  
Komponen dalam rangkai sirkulasi pendingin yang merupakan bagian dari pada mesin, akan tetapi dapat diganti tanpa membongkar mesin utama.

**1.2.2.13 Komponen dalam rangkai sirkulasi yang terpisah**  
Komponen dalam rangkai sirkulasi bahan pendingin, yang merupakan satu rangkai dengan mesin, akan tetapi tidak terpasang atau terpadu ke dalam mesin.

**1.3 Umum**

**1.3.1 Penandaan untuk cara pendinginan mesin adalah sebagai berikut:**

- a) huruf I C.
- b) untuk setiap rangkai pendinginan dibuat penandaan sebagai kelompok dengan sebuah huruf dan dua angka penandaan.

**1.3.1.1 Bahan pendingin ditandai dengan huruf kapital sesuai Sub ayat 1.4.**

**1.3.1.2 Tatanan rangkai dalam sistem untuk men-sirkulasi bahan pendingin ditandai dengan angka penandaan pertama sesuai Sub ayat 1.5.**

**1.3.1.3 Cara pencatutan daya untuk men-sirkulasi bahan pendingin ditandai dengan angka penandaan kedua sesuai Sub ayat 1.6.**

**1.3.2 Bila lebih dari satu rangkai pendingin diperlukan untuk pendingin suatu mesin, maka penandaannya adalah sebagai berikut:**

- penandaan pertama, kelompok penandaan satu huruf dan dua angka untuk rangkai pendinginan pada sisi pemakai, yaitu rangkai yang suhunya lebih rendah (rangkai pendinginan kedua).
- penandaan kedua, kelompok penandaan untuk rangkai yang lebih dekat ke belitan, yaitu rangkai yang suhunya lebih tinggi (rangkai pendinginan pertama).



1.3.3 Untuk mesin yang belitannya langsung didinginkan dalam belitan, penandaannya ditulis dalam tanda kurung.

1.3.4 Bahan pendingin yang berbeda atau cara sirkulasi bahan pendingin yang berbeda, yang digunakan untuk bagian suatu mesin yang berbeda, akan ditandai dengan kelompok gabungan huruf dan angka sebagai berikut:

1. Tataan biasa untuk suatu mesin tunggal.  
Bagian mesin yang sesuai, ditandai oleh huruf dan angka yang sesuai.
2. Mesin utama dan mesin pembantu dari suatu unit gabungan dengan berbagai bentuk pendinginan.  
Mesin yang sesuai, ditandai oleh huruf dan angka yang sesuai.
3. Pendinginan cadangan atau darurat.  
Penandaan cara pendinginan biasa harus disertai penandaan sistem pendinginan darurat yang ditulis dalam tanda kurung, termasuk huruf I C.

Catatan:

Bila dua atau lebih kemungkinan tersebut di atas, ditemukan bersamaan sekaligus, penandaan yang sesuai sebagaimana diuraikan di atas dapat digunakan bersamaan sekaligus pula.

#### 1.4 Bahan pendingin

1.4.1 Bahan pendingin ditandai dengan salah satu huruf sebagai berikut :

Bentuk Bahan	Jenis Bahan	Penandaan
Gas	( Udara	A
	( Hidrogen	H
	( Nitrogen	N
	( Karbon dioksida	C
Cairan	( Air	W
	( Minyak	U

Untuk bahan pendingin lainnya, jenis bahan bentuk gas atau cairan dinyatakan dengan tulisan lengkap.

1.4.2 Bila semua bahan pendingin itu udara, maka diperkenankan untuk meniadakan huruf yang menyatakan jenis bahan pendinginnya.

1.4.3 Bila mesin didinginkan oleh penguapan suatu cairan, penandaan harus memuat huruf "E" diikuti pernyataan dengan tulisan lengkap mengenai cairan tersebut.

#### 1.5 Angka Penandaan Pertama

Angka penandaan pertama setelah huruf, menandakan cara sirkulasi bahan pendingin dan cara pembuangan panas dari mesin, sesuai daftar di bawah ini :





Angka penandaan pertama	Uraian Singkat	Ketentuan
0 1)	Sirkulasi bebas	Bahan pendingin mengalir secara alami ke dalam mesin dari ruangan sekitarnya dan kembali lagi ke ruangan sekitarnya secara alami.
1 1)	Sirkulasi melalui pipa masuk atau saluran masuk	Bahan pendingin disalurkan ke dalam mesin dari suatu sumber yang bukan ruangan sekitar mesin melalui saluran masuk atau pipa masuk dan kemudian dilepas ke ruangan sekitar mesin secara alami.
2 1)	Sirkulasi melalui pipa keluar atau saluran keluar	Bahan pendingin dihisap masuk ke dalam mesin secara alami dari ruangan sekitar mesin, kemudian dilepas keluar dari mesin melalui saluran atau pipa keluar yang letaknya jauh dari ruangan sekitar mesin.
3 1)	Sirkulasi melalui pipa keluar atau saluran keluar	Bahan pendingin disalurkan ke dalam mesin dari sumber yang bukan ruangan sekitar mesin melalui saluran atau pipa masuk dan kemudian dilepas keluar dari mesin melalui saluran atau pipa keluar yang letaknya jauh dari ruangan sekitar mesin.
4 4)	Permukaan rangka mesin didinginkan (menggunakan bahan pendingin sekitarnya)	Bahan pendingin pertama disirkulasi dalam rangkai tertutup dan memberikan panas kepada bahan pendingin kedua yaitu ruangan sekitar mesin melalui permukaan rangka mesin. Permukaan boleh rata atau bersisip guna memperbaiki efisiensi penukar kalor.
5 2) 3) 4)	Penukar kalor terpadu (menggunakan bahan pendingin sekitarnya)	Bahan pendingin pertama disirkulasi ke dalam rangkai tertutup dan memberikan panasnya kepada bahan pendingin kedua, yaitu bahan pendingin sekitar mesin melalui penukar kalor yang dipasang dalam mesin dan merupakan bagian terpadu dari mesin.
6 2) 4)	Penukar Kalor dipasang pada mesin (menggunakan bahan pendingin dari sekitarnya)	Bahan pendingin pertama disirkulasi ke dalam rangkai tertutup dan memberikan panasnya kepada bahan pendingin kedua, yaitu bahan pendingin sekitar mesin, melalui Penukar Kalor yang merupakan unit tersendiri, akan tetapi dipasang langsung pada mesin.
7 2) 4)	Penukar kalor terpadu (tidak menggunakan bahan pendingin sekitarnya)	Bahan pendingin pertama disirkulasi dalam rangkai tertutup dan memberikan panasnya kepada bahan pendingin kedua yang bukan bahan sekitar mesin melalui Penukar Kalor yang dipasang dalam mesin dan merupakan bagian terpadu dari mesin.



8	2) 4)	Penukar Kalor dipasang pada mesin (tidak menggunakan bahan pendingin sekitarnya)	Bahan pendingin pertama disirkulasi dalam rangkai tertutup dan memberikan panasnya kepada bahan pendingin kedua yang bukan bahan sekitar mesin melalui Penukar Kalor, yang merupakan unit tersendiri, tetapi dipasang langsung pada mesin.
9	2) 4)	Penukar Kalor dipasang terpisah.	Bahan pendingin pertama disirkulasi dalam rangkai tertutup dan memberikan panasnya kepada bahan pendingin kedua melalui Penukar Kalor yang merupakan unit tersendiri dan dipasang terpisah dari mesin.

## Catatan:

- 1) Alat penyaring dan penyekat untuk pembuang debu dan peredam suara bising boleh dipasang dalam rangka mesin atau dalam saluran. Angka penandaan pertama 0 sampai 3 juga berlaku untuk mesin yang bahan pendinginnya :
  - diambil dari udara sekitarnya melalui Penukar Kalor, guna mendapatkan udara yang lebih dingin dari udara sekitarnya atau
  - dihisap keluar dari mesin melalui Penukar Kalor guna menjaga suhu ruangan yang lebih rendah.
- 2) Jenis bahan untuk Penukar Kalor tidak ditentukan (pipa polos atau pipa bersisip ruangan yang lebih rendah).
- 3) Mesin dengan dinding ganda dikelompokkan dalam angka 5.
- 4) Untuk angka penandaan pertama 4 sampai 9, macam bahan Penukar Kalor (Permukaan rangka dari Penukar Kalor) diperinci pada penentuan penandaan rangkai pertama (lihat contoh pada lampiran A).

## 1.6 Angka Penandaan Kedua

Sebagai kelanjutan penandaan pertama, maka angka penandaan kedua menandakan cara mencatu daya yang diperlukan untuk sirkulasi bahan pendingin, sesuai daftar sebagai berikut :

Angka penandaan pertama	Uraian Singkat	Ketentuan
0	Konveksi alami	Aliran bahan pendingin disebabkan oleh perbedaan suhu. Kerja pengipasan oleh rotor dapat diabaikan.
1	Sirkulasi sendiri	Aliran bahan pendingin disebabkan baik oleh hanya pengipasan dari rotor saja, maupun oleh alat yang dirancang untuk keperluan ini, yang dipasang langsung pada poros atau rotor mesin.



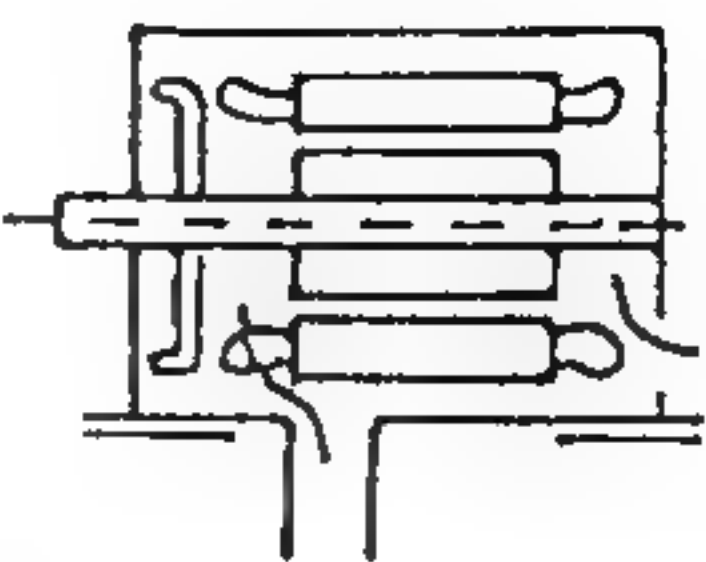
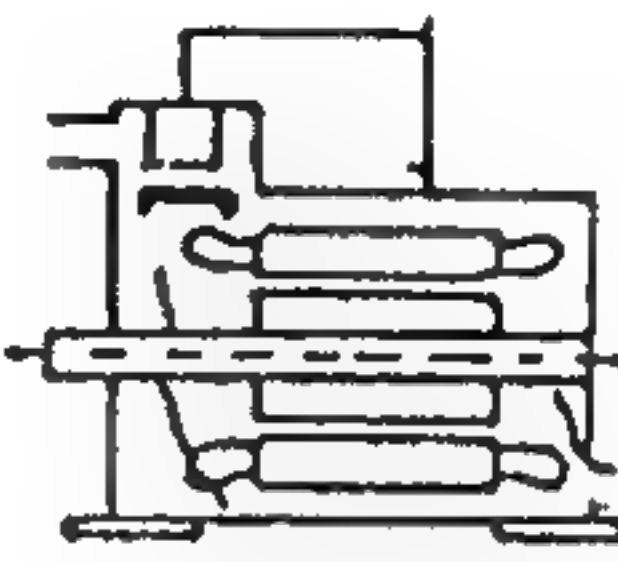
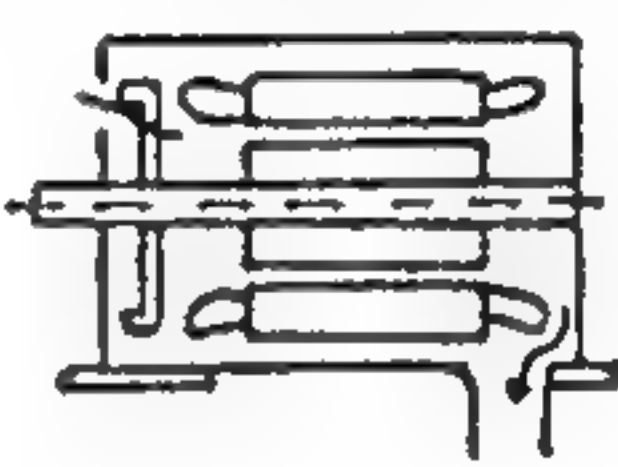
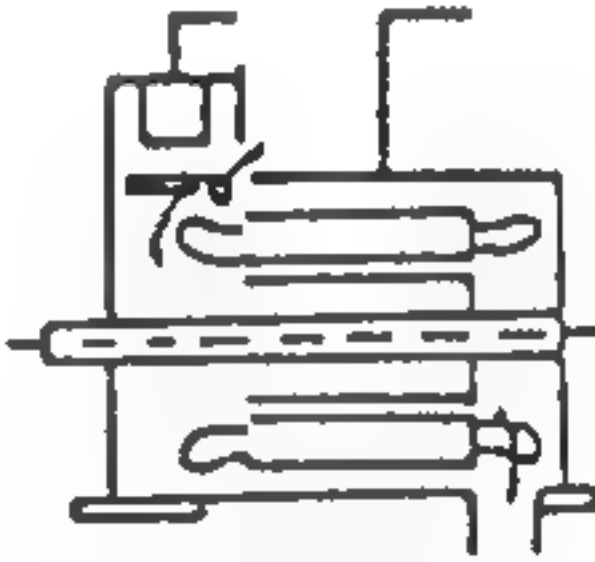
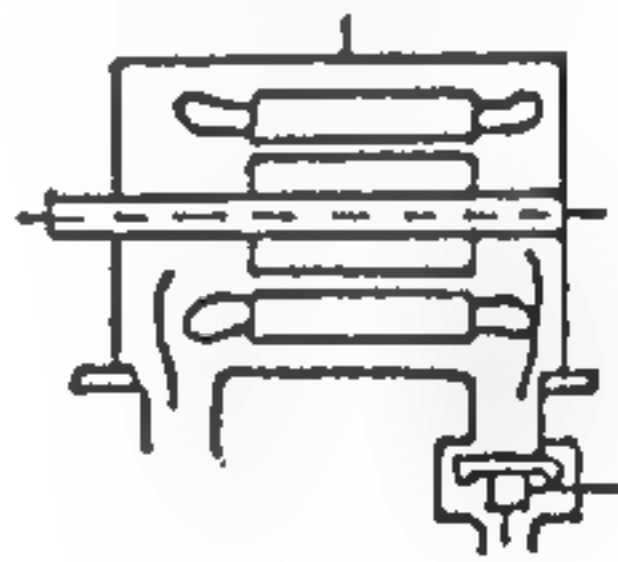
2	Sirkulasi oleh alat terpadu yang kerjanya tergantung dari mesin	Aliran bahan pendingin oleh alat terpadu yang dipasang tidak langsung pada poros mesin, misalnya kipas yang digerakkan oleh roda gigi atau oleh tali kipas.
3	Sirkulasi oleh alat yang kerjanya tergantung dari mesin dan terpasang pada mesin	Aliran bahan pendingin oleh alat bantu listrik atau mekanis yang dipasang pada mesin dan kerjanya tergantung dari mesin, misalnya kipas yang digerakkan oleh motor listrik yang dicatu dari terminal mesin utama (seluruh peralatan kontrol diberikan pada penyerahan mesin).
4		Dicadangkan untuk penggunaan mendatang
5	1) Sirkulasi oleh alat terpadu yang kerjanya tidak tergantung dari mesin	Aliran bahan pendingin oleh alat terpadu yang dayanya diperoleh sedemikian rupa, sehingga tidak tergantung dari mesin utama, misalnya kipas dijalankan oleh sebuah motor listrik, yang pencatutan dayanya tidak sama dengan pencatutan dari mesin utama
6	1) Sirkulasi oleh alat yang berdiri sendiri dan dipasang pada mesin.	Aliran bahan pendingin oleh alat bantu yang dipasang pada mesin yang dayanya diperoleh sedemikian rupa, sehingga tidak tergantung dari mesin utama.
7	1) Sirkulasi oleh alat terpisah, yang berdiri sendiri atau yang bekerja oleh tekanan sistem pendinginannya.	Aliran bahan pendingin yang digerakkan oleh alat listrik atau mekanis yang tidak dipasang pada mesin, akan tetapi berdiri sendiri atau yang bekerja oleh tekanan dalam sistem sirkulasi bahan pendingin sendiri, misalnya dicatu dari sistem distribusi air atau sumber gas yang bertekanan.
8	Sirkulasi oleh perpindahan relatif.	Aliran bahan pendingin dihasilkan oleh perpindahan relatif, karena mesin bergerak dalam bahan pendingin, misalnya kereta listrik berjalan (traksi) yang didinginkan oleh udara sekitar atau motor yang memutar kipas dan motor didinginkan oleh tarikan udara ini.
9	Sirkulasi oleh alat lainnya	Angka 9 ini digunakan: <ul style="list-style-type: none"> <li>- baik setelah angka penandaan pertama, bila disebutkan tatanan rangkai pendingin.</li> <li>- maupun secara tersendiri bila tatanan ini tidak disebutkan, maka angka penandaan pertama diganti oleh sebuah tanda garis.</li> </ul>

## Catatan:

Peralatan kontrol bukanlah bagian dari pengadaan mesin kecuali bila ada kesepakatan lain.

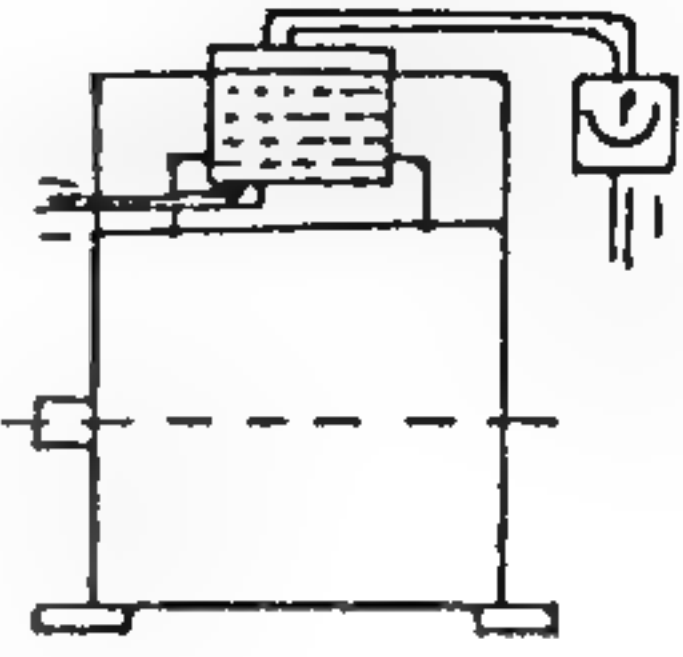
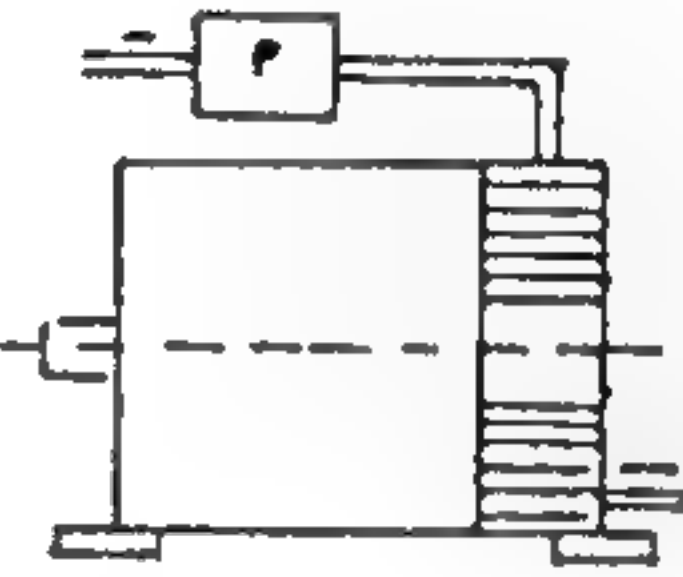
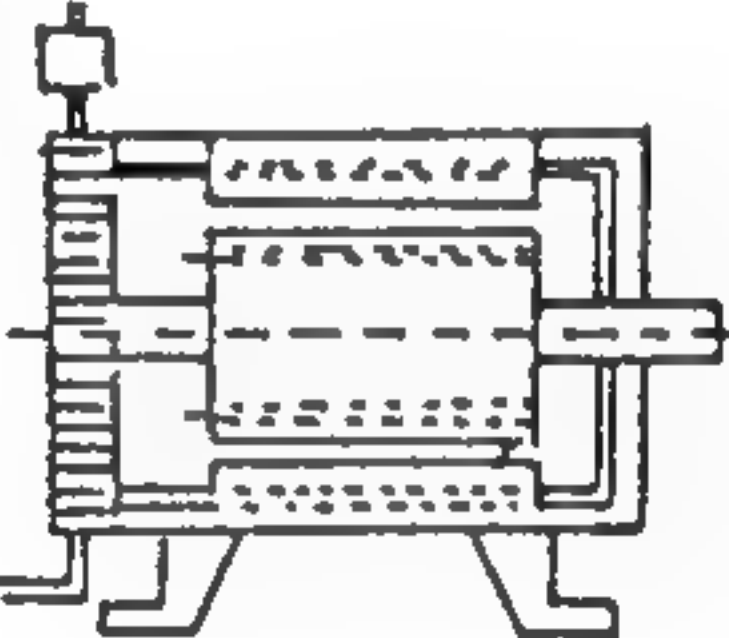
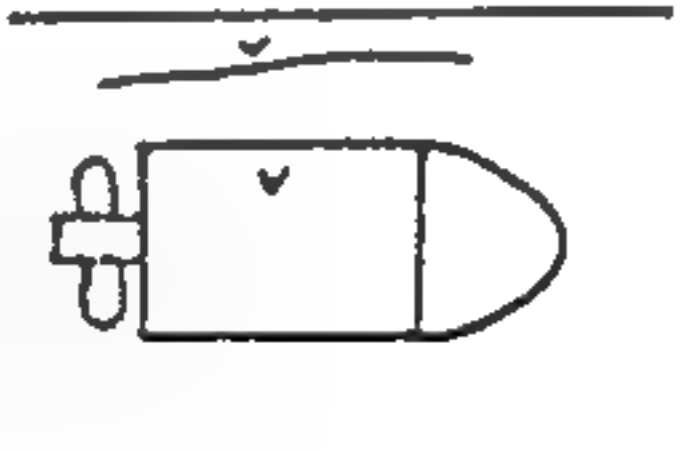
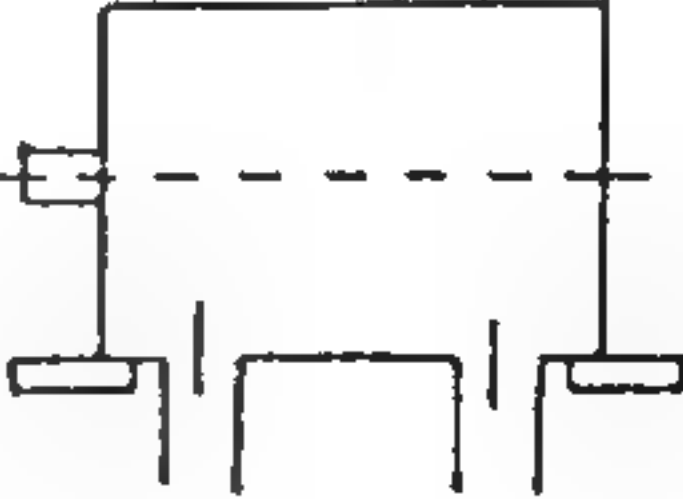




IC 11	Rancangan yang sama terdapat dalam tiga kasus : masuk, keluar, masuk dan keluar. Seluruh kasus ini tidak diperlihatkan pada contoh-contoh ini.	Pipa masuk Mesin dengan ventilasi sendiri dengan memasang kipas pada poros mesin	
IC 13		Pipa masuk Alat kipas terpisah yang digerakkan oleh motor dan terpasang pada mesin yang dayanya dicatu dari terminal mesin.	
IC 21		Pipa keluar Mesin berventilasi sendiri dengan kipas dipasang pada poros mesin.	
IC 26		Pipa keluar Alat kipas terpisah yang digerakkan oleh motor dan terpasang pada mesin, yang tidak dicatu dari terminal mesin.	
IC 37		Pipa masuk dan keluar Mesin dengan ventilasi terpisah. Alat kipas digerakkan oleh motor dan tidak terpasang pada mesin.	





IC W 37 A 71	<p>Mesin didinginkan udara.</p> <p>Alat penukar kalor pada mesin yang didinginkan oleh air.</p> <p>Sirkulasi air oleh pompa yang terpisah atau dari sumber air distribusi.</p>	
IC W 37 H 71	<p>Mesin didinginkan oleh hidrogen.</p> <p>Alat penukar kalor terpadu didinginkan oleh air.</p> <p>Sirkulasi air oleh pompa yang terpisah yang kerjanya tidak tergantung dari pompa atau dari distribusi air.</p>	
IC 37 Stator (W 37) Rotor H 71	<p>Hidrogen sebagai bahan pendingin belitan rotor dan sebelah dalam belitan stator.</p> <p>Penukar Kalor yang didinginkan oleh udara dipasang pada mesin.</p> <p>Sirkulasi oleh pompa terpisah atau dari air distribusi.</p>	
IC W 08 U 40	<p>Mesin didinginkan oleh minyak dalam rangkai tertutup dan terendam dalam air.</p>	
IC N 37	<p>Saluran masuk dan keluar.</p> <p>Ruang tertutup bertekanan, gas pendingin (nitrogen) dicatu dari suatu sistem distribusi.</p>	



- 2. KENAIKAN SUHU**  
Dialih-bahasa-kan dari IEC Publication 34 - 1 First Edition 1969: Rotating Electrical Machines. Part 1 Section V: Temperature Rise.
- 2.1 Keadaan selama pengujian dari kenaikan suhu**
- 2.1.1 Suhu dari bahan pendingin**  
Suatu mesin sinkron dapat diuji pada setiap nilai suhu bahan pendingin yang diinginkan. Bila kenaikan suhu dari bahan pendingin selama pengujian menyimpang dari spesifikasi lebih dari 30°C (atau dengan asumsi seperti pada sub-ayat 3.3.10) dalam operasi dilapangan, maka harus dilakukan koreksi seperti yang digariskan pada sub-ayat 3.3.
- 2.1.2 Pengukuran dari suhu bahan pendingin selama pengujian**  
Nilai yang diambil untuk suhu dari bahan pendingin selama pengujian haruslah merupakan nilai rata-rata dari pembacaan pada perempat masa terakhir dari pengujian tersebut dalam selang waktu yang sama.  
Untuk menghindarkan kesalahan akibat kelambatan waktu dari variasi suhu bahan pendingin pada mesin yang besar, maka harus diambil tindakan pencegahan sedini mungkin untuk mengurangi variasi suhu tersebut.
- 2.1.2.1 Mesin terbuka dengan pendingin oleh udara keliling atau gas**  
Suhu udara keliling atau gas harus diukur dengan menggunakan beberapa termometer yang ditempatkan pada beberapa titik yang berbeda pada separoh keliling bagian atas dari mesin pada jarak antara 1 m sampai 2 m dan harus terlindung dari semua radiasi panas dan aliran udara keliling.
- 2.1.2.2 Mesin tertutup dengan alat pendingin luar dan saluran ventilasi**  
Suhu dari bahan pendingin diukur pada saluran masuk mesin.
- 2.1.2.3 Mesin tertutup dengan alat pendingin dalam**  
Suhu dari bahan pendingin diukur pada saluran keluar dari penukar kalor.  
Dalam hal mesin mempunyai penukar kalor yang didinginkan dengan air, suhu air harus diukur pada saluran masuk dari alat pendingin.
- 2.2 Cara pengukuran kenaikan suhu**
- 2.2.1 Definisi kenaikan suhu dari bagian suatu mesin**  
Kenaikan suhu dari bagian suatu mesin adalah perbedaan suhu antara bagian mesin tersebut yang diukur menurut cara yang tercantum pada sub-ayat 2.3. s/d 2.7, sedangkan bahan pendinginnya diukur menurut cara tercantum pada sub-ayat 1.1 dan 1.2.
- 2.2.2 Cara pengukuran suhu**  
Untuk menentukan suhu belitan dan bagian lainnya, dikenal 3 cara pengukuran:
- a. Cara termometer
  - b. Cara resistans
  - c. Cara detektor suhu tertanam (DST)



### 2.2.3 Cara pengukuran suhu belitan

Untuk mengukur suhu :

- belitan stator mesin arus bolak balik tipe turbin yang mempunyai daya keluaran nominal 5.000 KW (KVA) atau lebih dari mesin kutub menonjol dan mesin induksi yang mempunyai daya keluaran nominal 5.000 KW (KVA) atau lebih.
- atau sebuah inti yang panjangnya 1 m atau lebih maka digunakan pengukuran cara resistans atau cara detektor suhu tertanam.

Cara detektor suhu tertanam akan dipakai, kecuali bila ada perjanjian lain antara pabrik dan pembeli.

Untuk belitan medan, cara yang lazim adalah dengan cara kenaikan resistans dari belitan.

Untuk belitan stator mesin, selain dari mesin yang lebih besar seperti tersebut diatas atau mesin yang hanya mempunyai satu kumparan per-alur, digunakan cara resistans dengan batas kenaikan suhu yang sama, karena cara dengan detektor suhu tertanam tidak lazim.

Catatan:

Untuk pengujian suhu belitan yang berada dalam keadaan jalan, detektor yang tertanam pada dasar alur tidak berarti, karena hanya memberikan nilai suhu dari inti besi. Suatu detektor yang ditempatkan diantara kumparan dan pasak akan lebih mendekati suhu belitan, sehingga akan lebih baik untuk pengujian, meskipun suhu di situ mungkin agak rendah.

Hubungan antara suhu ditempat tersebut dengan suhu yang diukur menurut cara resistans harus ditentukan dengan suhu pengujian kenaikan suhu dengan suatu batasan, bahwa pengukuran suhu dengan cara detektor tertanam harus sama dengan suhu yang diperbolehkan untuk pengukuran dengan cara resistans.

Cara termometer digunakan, bila cara detektor tertanam dan cara resistans tidak dapat digunakan.

Pemakaian cara termometer juga dikenal untuk pengujian sebagai berikut:

- a. Bila penentuan kenaikan suhu dengan cara resistans tidak praktis, seperti contoh pada belitan komutator yang mempunyai resistans yang rendah dan belitan kompensasi serta pada umumnya untuk belitan resistans rendah, terutama bila resistans pada titik sambungan, yang merupakan resistans yang cukup besar dari seluruh jumlah resistans.
- b. Belitan lapisan tunggal, baik berputar maupun diam.
- c. Untuk produksi massal dalam pabrik, maka dipakai cara termometer, meskipun cara resistans mungkin dapat digunakan.

Catatan:

Adalah bukan maksudnya untuk mensyaratkan pengukuran dengan cara termometer dan cara resistans sekaligus dan bukan maksudnya pula untuk memperbandingkan bacaan kenaikan suhu yang tercantum dalam Tabel I untuk cara termometer dan cara resistans. Bila pembeli ingin mempunyai sebuah alat pembaca termometer sebagai tambahan atas alat yang telah disediakan dengan cara resistans, maka kenaikan suhu yang terbaca pada termometer, yang ditempatkan pada titik terpanas yang masih dapat dicapai, harus tunduk kepada perjanjian khusus tetapi dalam hal apapun tidak boleh melebihi :





- 65°C bila belitan sesuai dengan Kelas A.
- 80°C bila belitan sesuai dengan Kelas E.
- 90°C bila belitan sesuai dengan Kelas B.
- 110°C bila belitan sesuai dengan Kelas F.
- 135°C bila belitan sesuai dengan Kelas H.

#### 2.2.4 Cara Termometer

Pada cara ini suhu ditentukan dengan pemakaian termometer pada seluruh permukaan sebuah mesin. Istilah termometer di sini termasuk termokopel yang tidak tertanam pada termometer resistans, asal saja ditempatkan pada titik seperti pengukuran dengan termometer tabung. Bila termometer tabung dipakai pada tempat di mana terdapat perubahan dan pergerakan medan magnet yang kuat, maka harus dipakai termometer alkohol.

#### 2.2.5 Cara Resistans

Pada cara ini, kenaikan suhu belitan ditentukan oleh kenaikan resistans belitan.

#### 2.2.6 Cara Superposisi

Pada mesin arus bolak-balik, maka dengan perjanjian terlebih dahulu, pengukuran resistans dapat dilakukan tanpa melepas beban selama pengujian dengan cara mengalirkan arus searah kecil ke dalam arus beban.

#### 2.2.7 Menentukan kenaikan suhu belitan tembaga dengan cara resistans

Kenaikan suhu  $t_2 - t_1$  dapat diperoleh dari perbandingan resistans dengan rumus:

$$\frac{t_2 + 235}{t_1 + 235} = \frac{R_2}{R_1}$$

di mana:

$t_2$  = suhu (°C) belitan pada akhir pengujian.

$t_1$  = suhu (°C) belitan pada saat permulaan (dingin) pengukuran resistans.

$t_s$  = suhu (°C) pendinginan pada akhir pengujian.

$R_2$  = Resistans belitan pada akhir pengujian.

$R_1$  = Resistans belitan pada suhu  $t_1$  (dingin)

Untuk keperluan praktis, rumus alternatif berikut akan cukup baik.

$$t_2 - t_s = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (235 + t_1) + t_1 - t_s$$

Bila suhu dari pada sebuah belitan akan ditentukan dengan resistans, maka suhu dari pada belitan tersebut sebelum pengujian harus sama dengan suhu pendingin berdasarkan pengukuran termometer.

Catatan:

Untuk bahan bukan tembaga, gantikan angka 235 pada rumus di atas dengan kebalikan dari koefisien suhu resistans bahan tersebut pada 0°C.

#### 2.2.8 Cara detektor suhu tertanam

Detektor tertanam adalah termometer resistans ataupun termokopel yang dipasangkan pada mesin pada saat mesin dirakit pada titik yang tidak mungkin dicapai, bila mesin telah selesai dipasang.



**2.2.9 Cara pengukuran suhu dengan detektor tertanam**

Bila digunakan detektor tertanam, maka sekurang-kurangnya 6 detektor harus didistribusikan secara tepat sekeliling stator dalam mesin. Harus diusahakan, agar supaya detektor tersebut ditempatkan dengan aman pada berbagai titik, di mana suhu tertinggi mungkin akan timbul dengan memberikan perlindungan yang sempurna bagi alat-alat tersebut terhadap sentuhan dengan bahan pendingin.

**2.2.9.1 Dua sisi kumparan per alur**

Bila belitan mempunyai dua sisi kumparan per alur, maka setiap detektor harus ditempatkan diantara isolasi sisi kumparan dalam alur tersebut.

**2.2.9.2 Lebih dari dua sisi kumparan per alur**

Bila belitan mempunyai sisi kumparan yang lebih dari dua sisi per alur, maka setiap detektor harus ditempatkan di antara dua sisi isolasi kumparan tersebut dalam posisi sedemikian rupa, sehingga suhu tertinggi mungkin dapat timbul.

**2.2.10 Koreksi terhadap pengukuran dilaksanakan sesudah mesin berhenti**

**2.2.10.1** Dalam hal pengukuran hanya dapat dilakukan sesudah mesin berhenti, maka diagram suhu pendingin digambar dengan menentukan titik awal se-segera mungkin. Dua kemungkinan yang dapat timbul adalah:

- a. Bila bagian mesin dianggap sudah dingin secara merata semenjak mesin dimatikan, maka suhu maksimum pada akhir pengujian dapat disimpulkan dengan ekstrapolasi pada diagram suhu bahan pendingin.
- b. Bila pengukuran yang dilakukan berturut-turut sejak mesin dimatikan dan pada permulaan menunjukkan suhu menaik dan kemudian baru menurun, maka ekstrapolasi seperti tersebut di atas tidak dapat dilakukan. Biasanya suhu maksimum akan diambil sebagai suhu tertinggi, kecuali bila disekitar titik pengukuran terdapat titik lain pada bagian mesin yang sama, di mana kenaikan suhu yang lebih tinggi diperbolehkan dari pada di titik pengukuran. Dalam hal demikian, maka dianggap cukup bila diambil pembacaan pertama yang telah dilaksanakan.

**2.2.10.2** Ekstrapolasi hanya dilakukan, bila pengukuran suhu dilaksanakan segera dalam periode tersebut dibawah ini semenjak pemutusan daya:

Daya Nominal KW (KVA)	Kelambatan sesudah pemutusan daya detik
0 - 50	30
Di atas 50 s/d 200	90

**2.2.10.3** Untuk mesin dengan satu sisi kumparan per alur, maka cara resistans yang dipakai, bila mesin dapat berhenti cukup cepat, misalnya 90 detik sejak pemutusan daya. Bila lebih dari 90 detik, maka dapat digunakan cara superposisi (lihat ayat 2.6), bila sebelumnya ada kesepakatan.

**2.2.10.4** Untuk mesin ber-kelembaman besar, maka cara ekstrapolasi hanya dapat digunakan dengan perjanjian antara pabrik dan pembeli.

**2.2.11 Lamanya pengujian kenaikan suhu untuk operasi kontinu**

Untuk mesin ini (tipe S1), maka pengujian kenaikan suhu harus diteruskan sampai tercapai keseimbangan termis. Bila mungkin, pengukuran suhu dilakukan pada saat mesin jalan dan sesudah mesin dimatikan.





## 2.2.12 Pengujian kenaikan suhu untuk mesin yang tidak kontinu

### 2.2.12.1 Mesin operasi waktu pendek (tipe S2)

Lama pengujian sesuai spesifikasi untuk operasi waktu pendek. Pada akhir pengujian, tidak boleh dilampaui batas kenaikan suhu yang dinyatakan dalam Tabel I.

Pada permulaan pengujian, suhu dari mesin harus dalam batas perbedaan suhu 5°C dari suhu bahan pendingin.

### 2.2.12.2 Mesin tipe lain (tipe S3 s/d S8)

Pengujian seharusnya dihentikan, bila keseimbangan telah tercapai. Pengukuran suhu harus dilakukan pada akhir periode dari nilai beban tertinggi dalam masing-masing siklus dengan maksud untuk meneliti apakah keseimbangan termis telah tercapai. Pada pertengahan periode dari nilai beban terbesar dalam siklus operasi yang terakhir, kenaikan suhu tidak diperkenankan melebihi batasan sebagaimana tercantum dalam Tabel I.

## 2.3 Batasan suhu dan kenaikan suhu

### 2.3.1 Tabel dari suhu dan kenaikan suhu

Tabel I memberikan batas kenaikan suhu yang diperbolehkan di atas suhu bahan pendingin untuk mesin dengan pendinginan udara yang diisolasi dengan bahan Kelas A,E,B,F dan H.

Untuk bahan kelas Y, batas kenaikan suhu yang diperbolehkan adalah 15°C di bawah Kelas A.

Untuk bahan kelas C, belum ada batas kenaikan suhu yang ditentukan. Kenaikan suhu mesin, yang mempunyai penukar kalor dengan bahan pendingin air, akan diukur pada suhu di atas suhu bahan pendingin pada saluran keluar dari penukar kalor.

Dengan perjanjian kedua belah pihak, kenaikan suhu dapat diukur pada air pendingin, apabila suhu air pada saluran masuk penukar kalor tidak melebihi 25°C. Oleh karena itu kenaikan suhu pada tabel dinaikkan dengan 10°C. Bila suhu air saluran masuk melebihi 25°C, maka syarat-syarat pada sub-ayat 3.3. harus dikenakan terhadap kondisi bahan pendingin.

Untuk mesin tipe turbin, referensi lebih lanjut harus diambil sesuai dengan terbitan IEC 34-3.

Untuk mesin yang beroperasi dalam waktu pendek, maka dengan perjanjian antara pabrik dan pembeli, batas kenaikan suhu yang diberikan dalam Tabel I dapat melebihi 10°C. Tetapi bila hal ini dilakukan, maka perlu diadakan pengawasan, karena dapat saja timbul efek lain yang mungkin dapat menimbulkan kesulitan sebelum suhu pada operasi waktu pendek tercapai, dimana suhu masih berada dalam batas daya tahan isolasi, akan tetapi efek pemanjangan dan penyusutan dalam mesin yang panjang dapat saja terjadi.

Tabel II mencantumkan batas kenaikan suhu yang diperbolehkan di atas suhu bahan pendingin hidrogen, untuk mesin yang belitannya didinginkan secara tidak langsung oleh hidrogen dengan suhu bahan pendingin pada saluran masuk tidak melebihi 40°C.



Tabel III mencantumkan batas suhu yang diperbolehkan, untuk mesin yang mempunyai bagian yang didinginkan langsung dengan gas atau cairan.

Dalam hal suatu mesin di mana satu belitannya didinginkan secara tidak langsung dan belitan lainnya didinginkan secara langsung, maka batas suhu atau kenaikan suhu dari masing-masing belitan harus sesuai dengan persyaratan yang tercantum pada tabel yang memadai.

### **2.3.2 Belitan stator untuk tegangan nominal yang melebihi 11.000 V**

#### **a. Mesin dengan pendingin udara**

Untuk belitan stator yang diisolasi keseluruhannya untuk tegangan nominal diatas 11.000 V, maka batas suhu harus dikurangi dengan jumlah sebagai berikut :

- 1,5°C bila pengukuran dilakukan dengan termometer.
- 1°C bila pengukuran dilakukan dengan detektor suhu tertanam untuk setiap 1.000 V (atau sebagian dari padanya) sampai dengan 17.000 V.
- Tambahan pengurangan 0,5°C, bila pengukuran dilakukan dengan termometer atau detektor tertanam per 1.000 V (atau sebagian dari padanya) diatas 17.000 V.

#### **b. Mesin yang didinginkan tidak secara langsung oleh hidrogen**

Untuk tegangan nominal yang melebihi 11.000 V, maka batas kenaikan suhu harus dikurangi dengan jumlah sebagai berikut.

- 1°C per 1.000 V (atau sebagian dari padanya) sampai dengan 17.000 V.
- Tambahan pengurangan 0,5°C per 1.000 V (atau sebagian dari padanya) diatas 17.000 V.





Tabel 1  
Batas Kenaikan Suhu Mesin Dengan Pendingin Udara

No	Bagian Mesin															
		A Cara			E Cara			B Cara			F Cara			H Cara		
		Termo- meter °C	Resistans °C	DST lihat butir 2,9 °C	Termo- meter °C	Resistans °C	DST lihat butir 2,9 °C	Termo- meter °C	Resistans °C	DST lihat butir 2,9 °C	Termo- meter °C	Resistans °C	DST lihat butir 2,9 °C	Termo- meter °C	Resistans °C	DST lihat butir 2,9 °C
1.	Belitan mesin arus bolak-balik 5000 kW (atau KVA) lebih, atau mempunyai inti yang panjangnya 1 m atau lebih. Catatan : Cara DST dapat digunakan pada mesin dengan keluaran kurang dari 5000 kW (atau KVA), atau yang mempunyai inti yang panjangnya kurang dari 1 m, tetapi batas kenaikan suhu yang ditentukan pada nomor ini akan dipakai.	—	60	60*	—	70	70*	—	80	80*	—	100	100*	—	125	125*
2.	a) Belitan mesin arus bolak-balik dengan keluaran kurang dari 5000 kW (atau KVA) atau mempunyai inti yang panjangnya kurang dari 1 m. b) Belitan medan suatu mesin arus bolak-balik & arus searah yang mempunyai penguatan arus searah yang lain dari nomor 3 & 4. c) Belitan angker yang mempunyai komutator.	) ) ) ) ) )	60	—	65*	75	—	70*	80	—	85*	100	—	105	125	—
3.	Belitan medan suatu mesin tipe turbin dengan penguatan arus searah.	—	—	—	—	—	—	—	90	—	—	110	—	—	—	—
4.	a) Belitan medan resistans rendah dengan lapisan lebih dari satu dan belitan kompensasi. Belitan berlapis satu dengan batang menonjol atau logam yang permukaannya dipemis. x	60 65	60 65	— —	75 80	75 80	— —	80 90	80 90	— —	100 110	100 110	— —	125 135	125 135	—
5.	Belitan berisolasi hubung pendek permanen.	60	—	—	75	—	—	80	—	—	100	—	—	125	—	—
6.	Belitan tak berisolasi hubung pendek permanen.	Kenaikan suhu dari bagian ini harus sedemikian rupa sehingga tidak akan terjadi kerusakan pada isolasi atau material lain pada bagian yang berdekatan														
7.	Inti magnet dan bagian lainnya tidak bersentuhan dengan belitan.															
8.	Inti magnet dan bagian lainnya yang bersentuhan dengan belitan.	60	—	—	75	—	—	80	—	—	100	—	—	125	—	—
9.	Komutator dan gelang lincir ** terbuka atau tertutup.	60	—	—	70	—	—	80	—	—	90***	—	—	100***	—	—

\* Suatu koreksi untuk belitan arus bolak balik tegangan tinggi dilakukan terhadap nomor ini (lihat sub-ayat 3.2)

x Juga termasuk belitan medan berlapis banyak di mana setiap lapisan bawah bersentuhan dengan pendingin sirkulasi.

\*\* Kenaikan suhu pada nomor 9 diizinkan, asalkan isolasi cukup memadai bagi kenaikan suhu tersebut, kecuali bila komutatornya atau gelang lincir berada dekat belitan, maka kenaikan suhu tidak boleh melebihi suhu untuk kelas isolasi belitan tersebut. Nilai kenaikan suhu yang tercantum adalah hasil pengukuran dengan termometer tabung.

\*\*\* Perhatikan khusus diperlukan pada kenaikan suhu 90°C dan 100°C dalam memilih kualitas sikatnya.



Tabel II  
Batas Kenaikan Suhu Mesin Dengan Pendingin Hidrogen Tidak Langsung

No	Bagian Mesin															
		A Cara			E Cara			B Cara			F Cara			H Cara		
		Termo- meter °C	Resistans °C	DST lihat ayat 2.9 °C	Termo- meter °C	Resistans °C	DST lihat ayat 2.9 °C	Termo- meter °C	Resistans °C	DST lihat ayat 2.9 °C	Termo- meter °C	Resistans °C	DST lihat ayat 2.9 °C	Termo- meter °C	Resistans °C	DST lihat ayat 2.9 °C
1	Belitan mesin arus bolak-balik dengan keluaran 5000 KW (atau KVA) atau lebih, atau mempunyai inti dengan panjang 1 m atau lebih. Tekanan absolut hidrogen (N/m <sup>2</sup> ) dari : 135623 sd 150333 xx	—	—	—	—	—	—	—	80*	—	—	100*	Nilai untuk kelas H masih dalam penelitian			
		—	—	—	—	—	—	—	75*	—	—	95*				
		—	—	—	—	—	—	—	70*	—	—	90*				
		—	—	—	—	—	—	—	65*	—	—	85*				
		—	—	—	—	—	—	—	62*	—	—	82*				
		—	—	—	—	—	—	—	60*	—	—	80*				
		—	—	—	—	—	—	—	60*	—	—	80*				
2	a) Belitan mesin arus bolak-balik dengan keluaran kurang dari 5000 kW (atau KVA) atau mempunyai inti kurang dari 1 m.	—	60	60*	—	75	75*	—	80	80*	—	100		100*		
	b) Belitan medan suatu mesin arus bolak-balik & arus searah yang lain dari nomor 3 & 4.	)	—	—	)	75	—	)	80	—	—	100		—		
	c) Belitan angker yang mempunyai komutator.	)	—	—	)	—	—	)	—	—	—	—		—		
3	Belitan medan mesin tipe turbin yang mempunyai penguatan arus searah.	—	—	—	—	—	—	—	—	85	—	—	105			
4	a) Belitan medan resistans rendah dengan berlapis lebih dari satu dan belitan kompensasi.	—	60	—	—	75	—	—	80	—	—	100	—			
	b) Belitan berlapis satu dengan batang menonjol atau logam yang permukaannya dipernis.	—	65	—	—	80	—	—	90	—	—	110	—			
5.	Belitan berisolasi hubung pendek permanen.	Kenaikan suhu dari bagian ini harus sedemikian rupa sehingga tidak akan terjadi kerusakan pada isolasi atau material lain yang berdekatan														
6.	Belitan tak berisolasi hubung pendek permanen.															
7.	Inti magnet dan bagian lainnya tidak bersentuhan dengan belitan.															
8.	Inti magnet dan bagian lainnya bersentuhan dengan belitan.	60	—	60	75	—	75	80	—	80	100	—	100			
9.	Komutator dan gelang lincir ** terbuka atau tertutup.	60	—	—	70	—	—	80	—	—	90***	—	—			

xx Inti adalah satu-satunya nomor di mana kenaikan suhu yang diizinkan tergantung dari tekanan hidrogen.

\* Satu koreksi untuk belitan arus bolak-balik tegangan tinggi dilakukan terhadap nomor ini (lihat sub ayat 3.2)

x Juga termasuk belitan medan berlapis banyak di mana setiap lapisan bawah bersentuhan dengan pendingin sirkulasi.

\*\* Kenaikan suhu pada nomor 9 diizinkan, asalkan isolasi cukup memadai bagi kenaikan suhu tersebut, kecuali bila komutatornya atau gelang lincir berada dekat belitan, maka kenaikan suhu tidak boleh melebihi suhu untuk kelas isolasi belitan tersebut. Nilai kenaikan suhu yang tercantum adalah hasil pengukuran dengan termometer tabung.

\*\*\* Perhatikan khusus diperlukan pada kenaikan suhu 90°C dalam memilih kualitas sikatnya.



Tabel III

Batas Suhu Mesin Dengan Pendinginan Langsung Oleh Hidrogen

SNI 1693-1989  
SLI 018-1985  
s. 008

No.	Bagian Mesin	A Cara			E Cara			B Cara			F Cara			H Cara											
		Termo- meter	Resistans	DST lihat butir 2,9	Termo- meter	Resistans	DST lihat butir 2,9	Termo- meter	Resistans	DST lihat butir 2,9	Termo- meter	Resistans	DST lihat butir 2,9	Termo- meter	Resistans	DST lihat butir 2,9									
		°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C									
1.	Pendinginan pada saluran keluar dari bagian berputar yang didinginkan langsung	Nilai-nilai untuk kelas ini masih dalam penelitian.						110	—	110	130	—	130	Nilai untuk kelas H masih dalam penelitian											
a) Gas	85							—	85	85	—	85													
b) Air atau minyak	Dalam penelitian																								
c) Cairan lainnya	—							120	120*	—	140	140*													
2.	Belitan arus bolak-balik							—	100	—	—	115	—												
a) Pendinginan gas	—							105	—	—	120	—													
b) Pendinginan cairan	—							110	—	—	125	—													
3.	Belitan medan dari mesin tipe turbin.							—	115	—	—	130	—												
a) Pendinginan dengan gas yang meninggalkan rotor melalui saluran keluar sebagai berikut **	suhu maksimum bahan pendingin sebagaimana tercantum pada nomor 1 cukup meyakinkan, bahwa suhu titik terpanas pada belitan tidak melebihi yang diperbolehkan.																								
1 dan 2	—							130	—	—	150	—													
3 dan 4	suhu maksimum bahan pendingin sebagaimana tercantum pada nomor 1 cukup meyakinkan, bahwa suhu titik terpanas pada belitan tidak melebihi yang diperbolehkan																								
6																									
8 dan lebih.																									
b) Pendinginan cairan																									
4.	Belitan medan mesin arus bolak-balok dan arus searah yang mempunyai penguatan arus searah selain dari pada tersebut pada nomor 3							—	130	—	—	150	—												
a) Pendinginan gas																									
b) Pendinginan cairan																									
5.	Hubung pendek permanen belitan berisolasi.	Suhu dari bagian ini tidak akan mencapai suatu nilai, yang akan mengakibatkan kerusakan pada setiap isolasi atau material lainnya dari belitan atau pada bagian yang berdekatan																							
6.	Hubung pendek permanen belitan tak berisolasi																								
7.	Inti magnet dan bagian lainnya tidak bersentuhan dengan belitan.																								
8.	Inti magnet dan bagian lainnya bersentuhan dengan belitan.	60						1230	—	—	140	—	—												
9	Komutator dan gelang lincir *** terbuka atau tertutup.							120	—	—	130****	—	—												

\* Penting untuk diperhatikan adalah, bahwa suhu yang diukur dengan DST menunjukkan suhu yang tertinggi dan belitan stator. Penelitian atas suhu maksimum yang tercantum pada nomor 1 akan meyakinkan kita, bahwa suhu tertinggi yang diperbolehkan untuk belitan belum mencapai batas suhu dari belitan stator yang diperbolehkan, hal mana adalah demi mengamankan isolasi terhadap panas yang berlebihan dari inti belitan. Pembacaan dari suhu DST adalah untuk mengikuti jalannya sistem pendinginan dari belitan stator.

\*\* Ventilasi Rotor diklasifikasi menurut jumlah bagian Radial saluran keluar sepanjang Rotor. Bagian saluran keluar teristimewa pada pendinginan belitan ujung, termasuk dalam saluran keluar ini pada setiap ujung Rotor. Saluran keluar bagi pendinginan dengan 2 (dua) aliran aksial yang berlawanan dihitung sebagai 2 (dua) bagian.

\*\*\* Suhu tercantum pada nomor 9 diperbolehkan dengan syarat, bahwa isolasinya yang dipakai adalah sesuai dengan kenaikan suhunya, kecuali bila komutator atau gelang lincir. Nilai suhu ini hanya dihasilkan oleh pengukuran dengan menggunakan termometer tabung.





### 2.3.3 Penyesuaian batas kenaikan suhu pada permukaan laut terhadap kondisi setempat dari suhu bahan pendingin dan ketinggian lokasi.

Penyesuaian tidak diperlukan untuk batas kenaikan suhu sebagaimana tercantum dalam Tabel I, bila suhu bahan pendingin tersebut adalah 40°C dan ketinggian tidak melebihi 1.000 m.

Dalam sub-ayat ini dan sub-ayat berikutnya, akan dijelaskan tentang mesin yang tergantung dari bahan pendingin dengan udara atau gas lainnya pada tekanan atmosfer, dimana suhu dari bahan pendingin adalah bukan 40°C atau dimana ketinggiannya melebihi 1.000 m. Bila lokasinya lebih tinggi dari 4.000 m, maka koreksi untuk ketinggiannya akan dibuat atas dasar kesepakatan antara produsen dan pembeli.

Kondisi lokasi dengan persyaratan sebagaimana dicantumkan dalam sub-ayat 2.3.3.1 s/d 2.3.3.10 dengan singkat tercantum pada Tabel IV.

**Tabel IV**  
**Penyesuaian dengan kondisi lokasi**

Suhu pendinginan dalam °C	Ketinggian Meter	
	0 s/d 1000	di atas 1000 s/d 4000
	Nomor Sub Ayat	Nomor Sub Ayat
Kurang dari 30	3.3.1	3.3.5
30 s/d 39	3.3.2	3.3.6
40	—	3.3.7
40 s/d 60	3.3.3	3.3.8
Lebih tinggi dari 60	3.3.4	3.3.9
Tidak ditentukan	—	3.3.10

2.3.3.1 Bila sebuah mesin dirancang untuk beroperasi dengan pendinginan pada suhu yang selalu lebih rendah dari 30°C, maka kenaikan suhu yang diizinkan dapat menaik di atas nilai yang tercantum dalam Tabel I dengan 10°C, Kecuali bila perjanjian menyatakan lain.

2.3.3.2 Bila sebuah mesin dirancang untuk beroperasi dengan pendinginan pada suhu yang selalu lebih rendah dari 40°C, akan tetapi lebih rendah dari 30°C, maka kenaikan suhu yang diizinkan dapat melebihi nilai yang tercantum dalam Tabel II dengan jumlah °C dibawah 40°C dari suhu bahan pendingin tersebut.

2.3.3.3 Bila sebuah mesin dirancang untuk beroperasi dengan bahan pendingin pada suhu diatas 40°C, akan tetapi tidak melebihi 60°C, maka kenaikan suhu yang diizinkan harus di bawah nilai, sebagaimana tercantum dalam Tabel I dengan jumlah °C di atas 40°C dari suhu bahan pendingin tersebut.

2.3.3.4 Bila sebuah mesin dirancang untuk beroperasi dengan bahan pendingin pada suhu lebih tinggi dari 60°C, maka kenaikan suhu yang diizinkan adalah atas dasar kesepakatan antara produsen dan pembeli.



- 2.3.3.5 Bila sebuah mesin dirancang untuk beroperasi dengan bahan pendingin pada suhu dibawah  $30^{\circ}\text{C}$  dan pada ketinggian diatas 1.000 m s/d 4.000 m, maka koreksi yang ditentukan dalam sub-ayat 2.3.3.1 untuk bahan pendingin dan sub-ayat 2.3.3.7 untuk ketinggian berlaku untuk kedua hal tersebut.
- 2.3.3.6 Bila sebuah mesin dirancang untuk beroperasi dengan bahan pendingin pada suhu diantara  $30^{\circ}\text{C}$  dan  $40^{\circ}\text{C}$  dan pada ketinggian diatas 1.000 m s/d 4.000 m, maka koreksi yang ditentukan dalam sub-ayat 2.3.3.2 untuk bahan pendingin dan dalam sub-ayat 2.3.3.7 untuk ketinggian, akan berlaku bagi kedua hal tersebut.
- 2.3.3.7 Bila suhu bahan pendingin dilapangan ditentukan pada  $40^{\circ}\text{C}$  dan ketinggiannya diatas 1.000 m s/d 4.000 m, maka penurunan dari ketinggian suhu yang diizinkan harus sesuai dengan nilai sebesar 1% dari nilai-nilai kenaikan suhu pada no.1 dari Tabel I untuk setiap kenaikan ketinggian 100 m diatas 1.000 m.  
Dalam pembuatan kalkulasi ini, sebaiknya untuk setiap kelas isolasi, kenaikan ketinggian ditentukan per  $1^{\circ}\text{C}$ , untuk menghindari kesulitan, bila dipergunakan koreksi dalam pecahan  $^{\circ}\text{C}$ , untuk bermacam-macam nilai dalam Tabel I. Kenaikan dalam bentuk pecahan harus dikalkulasi dengan pembulatan keatas.

Tabel V  
Kenaikan Ketinggian

	Kelas Isolasi				
	A	E	B	F	H
Kenaikan suhu pada Nomer 1 dari Tabel I	60	70	80	100	125
Kenaikan suhu 1% untuk setiap kenaikan 100 m	0,6	0,7	0,8	1,0	125
Kenaikan ketinggian dalam meter per $^{\circ}\text{C}$	167	143	125	100	80

- 2.3.3.8 Bila sebuah mesin dirancang untuk beroperasi dengan suhu bahan pendingin diantara  $40^{\circ}\text{C}$  dan  $60^{\circ}\text{C}$  dan pada ketinggian 1.000 m s/d 4.000 m, maka kedua koreksi yang ditentukan dalam sub ayat 2.3.3.3 untuk bahan pendingin dan dalam sub ayat 2.3.3.7 untuk ketinggian akan dipakai.
- 2.3.3.9 Bila sebuah mesin dirancang untuk beroperasi dengan suhu bahan pendingin lebih tinggi dari  $60^{\circ}\text{C}$  dan pada ketinggian diatas 1.000 m s/d 4.000 m, maka kenaikan suhu yang diizinkan akan ditentukan atas dasar kesepakatan produsen dan pembeli.
- 2.3.3.10 Bila suhu bahan pendingin dilapangan tidak ditentukan dan ketinggiannya ditentukan diatas 1.000 m s/d 4.000 m, maka diperkirakan, bahwa menurunnya



bahan pendingin disebabkan oleh ketinggian, akan bisa dikompensasi oleh menurunnya suhu pendingin.

Untuk ini tidak diperlukan penyesuaian untuk kenaikan suhu yang diizinkan yang tercantum dalam Tabel I yang telah dibuat untuk itu.

Tabel IV mencantumkan beberapa suhu ruang dalam °C (berdasarkan suhu ruang 40°C dan ketinggian dibawah 1.000 m).

Penurunan suhu terhadap ketinggian adalah berdasarkan penurunan 1% dari kenaikan suhu yang diperbolehkan per 100 m ketinggian tercantum pada nomor 1 Tabel I.

**Tabel VI**  
**Perkiraan Suhu Ruang**

Ketinggian dalam m	Suhu bahan pendingin °C				
	Kelas Isolasi				
	A	E	B	F	H
1.000	40	40	40	40	40
2.000	34	33	32	30	28
3.000	28	26	24	20	15
4.000	22	19	16	10	3

Kondisi pengujian dengan ketentuan tercantum pada sub ayat 2.3.3.11 s/d 2.3.3.13 diikhtisarkan dalam Tabel VII

**Tabel VII**  
**Penyesuaian Kondisi Pengujian**

Suhu Bahan Pendingin	Ketinggian m	
	0 s/d 1.000	Diatas 1.000 s/d 4.000
	Sub Ayat	—
Dalam batas suhu yang ditentukan sebesar 30°C		
Lebih rendah dari suhu yang ditentukan dengan nilai lebih tinggi dari 30°C		
Di atas suhu yang ditentukan dengan nilai lebih tinggi dari 30°C		

(\*) Rekomendasi ini tidak diperuntukkan bagi pengujian dengan ketinggian di atas 1.000 m.





- 2.3.3.11 Bila suhu bahan pendingin pada saluran masuk mesin selama pengujian, kenaikan suhunya berbeda dengan yang ditentukan atau diperkirakan dari ayat 2.3.3.10 untuk beroperasi di lapangan dengan nilai lebih rendah dari 30°C, maka penyesuaian berikutnya tidak usah dibuat untuk kenaikan suhu yang diizinkan pada pengujian tersebut.
- 2.3.3.12 Bila suhu bahan pendingin pada saluran masuk mesin selama pengujian, kenaikan suhu adalah lebih rendah dari pada yang ditentukan atau diperkirakan pada sub ayat 3.3.10 pada pengoperasiannya di lapangan dengan nilai lebih besar dari 30°C, maka suhu kenaikan yang diizinkan selaras dengan sub ayat 2.3.3.1 s/d 2.3.3.9 dengan pengurangan berikutnya sebesar jumlah prosentase yang sama dengan 1/5 dari perbedaannya dalam °C.
- 2.3.3.13 Bila suhu bahan pendingin pada saluran masuk dari mesin selama pengujian kenaikan suhu adalah lebih tinggi dari pada yang ditentukan atau diperkirakan dalam sub ayat 2.3.3.10 untuk pengoperasian di lapangan dengan jumlah yang lebih besar dari 30°C, maka kenaikan suhu yang diizinkan dengan penyesuaian menurut sub ayat 2.3.3.1 s/d 2.3.3.9 adalah penurunan berikutnya dengan jumlah prosentase yang besarnya sama dengan 1/5 dari pada perbedaannya selama °C.







**SNI 04-1693-1989 (N)**

Mesin sinkron, Pendinginan

Tgl. Pinjaman	Tgl. Harus Kembali	Nama Peminjam



**PERPUSTAKAAN**

